

# ВЛИЯНИЕ АМПЛИТУДЫ ДЕФОРМАЦИИ НА СОСТАВЛЯЮЩИЕ МАРТЕНСИТНОГО ПИКА ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ В TiNi

Шуйцев А.В.

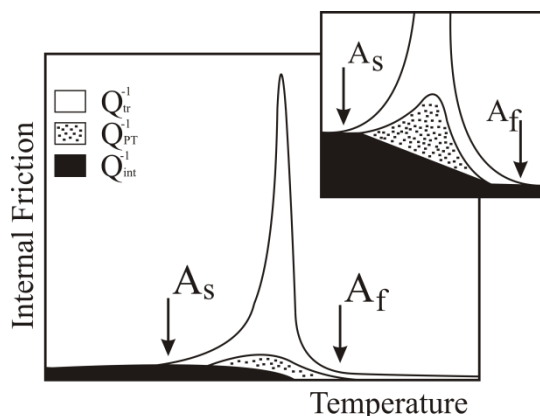
Руководитель – проф., д.т.н. Маркова Г.В.

Тульский Государственный Университет, г. Тула,

[alex.tsu2008@rambler.ru](mailto:alex.tsu2008@rambler.ru)

Изучено влияние амплитуды деформации на составляющие пика ВТ при ТУМП в сплаве TiNi эквиатомного состава. Установлено, что ярко выраженная амплитудная зависимость связана с ростом ВТ в мартенсите и увеличением фазовой компоненты.

Особые свойства в сплавах на основе интерметаллического соединения TiNi, такие как эффект памяти формы (ЭПФ) и сверхупругость (СУ) обусловлены протекающим в нем мартенситным превращением термоупругого характера. Одним из немногих методов, позволяющих исследовать МП *in situ* является метод внутреннего трения (ВТ).



**Рисунок 1. Схема разложения максимума ВТ при ТУМП**

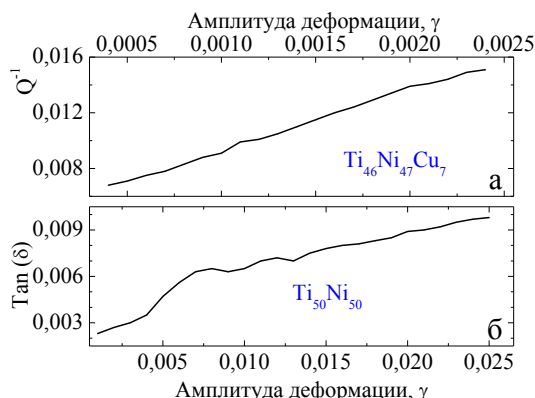
В [1] описано, что максимум ВТ при ТУМП может быть разложен на три составляющие (рисунок 1):

- фоновая составляющая  $Q_{int}^{-1}$ . Соответствует аддитивному рассеянию энергии в аустенитной и мартенситной фазах с учетом их объемного соотношения.

- фазовая составляющая  $Q_{PT}^{-1}$ . Ее вклад выявляется при изотермических выдержках или при высокочастотных измерениях. Природа этой компоненты связана с обратимой подвижностью межфазных границ в поле приложенных напряжений.

- переходная компонента  $Q_{tr}^{-1}$ . Она зависит от внешних параметров (частоты, амплитуды, скорости нагрева/охлаждения). Механизм рассеяния

энергии компоненты  $Q_{tr}^{-1}$  обусловлен перемещением межфазных и внутримартенситных двойниковых границ на значительные расстояния



**Рисунок 2. Амплитудная зависимость сплавов на основе интерметаллида TiNi: а – TiNiCu [4]; б – TiNi [5]**

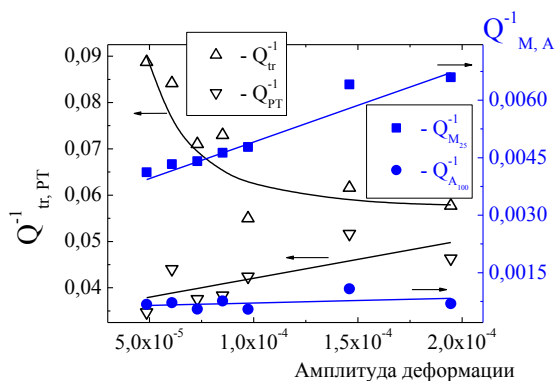
Наибольший интерес вызывает переходная составляющая  $Q_{tr}^{-1}$ , так как она вносит наибольший вклад в рассеяние энергии при ТУМП. Для описания этой составляющей существует целый ряд феноменологических моделей, проанализированных в [2].

В работе [3] показано, что наиболее адекватной моделью для описания переходной составляющей ВТ при МП в интерметаллиде TiNi является модель Гримо:

$$\frac{\varepsilon_0^t}{4J} \left( \frac{\dot{\tau}}{\omega \sigma_0} + \frac{2\alpha}{\pi} \right) \frac{dn}{dT}. \quad (1)$$

До сих пор непонятным остаются тот факт, что существует большое количество экспериментальных данных [4, 5], где сплавы на основе интерметаллического соединения TiNi проявляют сильно выраженную амплитудную зависимость (рисунок 2), в то время как модель Гримо предсказывает уменьшение уровня ВТ при увеличении амплитуды деформации.

Для исследования влияния амплитуды деформации на составляющие пика ВТ при ТУМП в сплаве Ti50Ni50 были измерены спектры ВТ в области температур МП при различных амплитудах деформации. Для выделения фазовой составляющей ВТ проводили 30 минутные изотермические выдержки в интервале температур превращения. В качестве меры переходной и фазовой компонент ВТ была выбрана площадь пиков, за меру фоновой компоненты принимали уровень ВТ в мартенсите и аустените.



**Рисунок 3. Влияние амплитуды деформации на составляющие пика ВТ при ТУМП в TiNi**

На рисунке 3 показано влияние амплитуда деформации на составляющие пика ВТ при ТУМП в сплаве TiNi. Как видно из рисунка, увеличение амплитуды деформации приводит к уменьшению переходной и увеличению фазовой составляющей. Уровень фона в аустените остается постоянным, а в мартенситае возрастает.

Таким образом, возрастающая амплитудная зависимость общего ВТ в сплавах с ТУМП связана с ростом внутреннего трения в мартенситае и увеличением фазовой компоненты.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 12-03-00273-а и 13-03-97503 р\_цент\_а).

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Shape Memory Materials./Edited by Otsuka K., Wayman C.M. – Cambridge University Press, 1998, 284 p.
  2. J. San Juan, R.B. Perez-Saez, M.L. No, Internal Friction during martensitic transformation, Bulletin of TSU, Materials Science. 3 (2002) 154-167.
  3. G.V. Markova, A.V. Shuytcev, A.V. Kasimtcev, Study of Martensitic Transformation in TiNi Intermetallic by the Methods of Low Frequency Internal Friction, Materials Science Forum V. 738-739 (2013) 377-382
  4. Материалы с эффектом памяти формы. В 3 т. Т.1./ Под ред. В.А.Лихачева.- СПб:Изд.НИИХ СПбГУ,1998. - 523 с.
- F. Chen, Y.X. Tong, X.L. Lu, Effect of graphite addition on martensitic transformation and damping behavior of NiTi shape memory alloy, Materials Letters 65 (2011) 1073-1075.